

## **ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОХОДНОГО ПРЕССОВАНИЯ**

В настоящей работе под проходным понимается обратное прессование заготовки (например, непрерывнолитой) неограниченной длины без удаления пресс-остатка. Изучение этого процесса актуально в связи с разработкой технологии и оборудования прямого совмещения горизонтальной непрерывной разливки с прессованием. Разливку осуществляют с большим шагом вытягивания, равным ходу контейнера пресса, причем контейнер выполняет в стационарном процессе роль вытяжного устройства. Неспаи шагов непрерывнолитой заготовки легко устраняются при прессовании. Технологический процесс получения пресс-изделий таким способом дает возможность думать о литейно-прессово-прокатных комплексах, производящих сортовой прокат широкого сортамента. Здесь пресс-изделие служит прокатной заготовкой, которую легко менять при переводе прокатной группы комплекса на другой типоразмер профиля. Проходной пресс заменяет обжимную группу прокатного стана, снижает металлоемкость основного оборудования, обеспечивает энерго- и металлосбережение, облегчает переналадку, расширяет технологические возможности.

В отличие от прессования мерных заготовок изучаемый здесь процесс породил специфические проблемы, например, удержания длинномерной заготовки в контейнере во время прессования. Однако их разрешение не столь трудно, чтобы отказаться от нового способа и вернуться к традиционной технологии [1], где велико количество вспомогательных операций, чрезмерные отходы металла при разрезке и на пресс-остаток (до 10-20 %).

В мировой практике прессования известны способы обработки длинномерных заготовок. Например, согласно патенту США [2], процесс непрерывного прессования включает операции:

- подача части заготовки в разъемный контейнер;
- приложение сжимающих напряжений на боковой поверхности со стороны стенок контейнера;
- обратное прессование металла через матрицу;
- снятие сжимающих напряжений с боковой поверхности;
- повторение этих действий в цикле.

Перед подачей заготовки образующие контейнер сегменты

разводятся механизмом поперечного перемещения, после подачи тем же механизмом сегменты сводятся до защемления слитка. Удерживая заготовку в таком состоянии, контейнер надвигается на полый пуансон с закрепленной на нем матрицей, продавливая в канал заготовку и формируя пресс-изделия требуемого поперечного сечения. Прессование осуществляют с использованием напряжений трения на контактной поверхности специально удлиненного контейнера. Следовательно, для создания достаточной силы прессования необходимо, чтобы длина поверхности трения была достаточно большой.

Рекомендовано [2] устанавливать длину защемляющей части контейнера равной пяти диаметрам ее полости, что справедливо, когда хват слитка контейнером обеспечивается по всей его боковой поверхности. Цилиндрическая поверхность половинок контейнера обжимает круглый в сечении слиток лишь в случае, если диаметр заготовки несколько больше диаметра полости контейнера в закрытом состоянии. Смещенный по диаметру металл не имеет возможности течь в осевом направлении, увеличивая его длину, так как длина слитка много больше его диаметра, вследствие чего образовавшийся излишек металла вытекает в зазор между половинками контейнера, препятствуя их смыканию. Образовавшийся заусенец удаляется за счет использования прессования с пресс-рубашкой. Для этого внешний диаметр матрицы принимают меньше диаметра контейнера, а в основании пуансона устанавливают ножи, разрезающие рубашку не менее чем на три части, что позволяет удалять ее непрерывно с оси прессования. Естественно, что такая схема прессования приводит к повышенным отходам металла в пресс-рубашку.

Поскольку прессование осуществляется передачей усилия посредством трения о стенки контейнера, то для обеспечения достаточно высокого уровня трения приходится отказаться от использования смазки, что увеличивает энергозатраты на преодоление трения на поверхности матрицы и способствует быстрому износу последней.

Необходимость обеспечения достаточно плотного и надежного замыкания половин контейнера во время прессования требует применения мощных механизмов, усложняющих конструкцию. В теории прессования принято допущение, в соответствии с которым радиальное давление на стенки контейнера составляет 60-80 % от напряжения прессования или при грубой верхней оценке усилие замыкания контейнера  $P_3$

$$P_3 = 1,6Pl/d,$$

где  $P$  – усилие прессования;

$l$  – длина участка заготовки, находящегося в контейнере;

$d$  – диаметр контейнера.

Если  $l/d = 5$ , то  $P_3 = 8P$ , т.е. усилие замыкания превышает даже усилие прессования, в результате механизм замыкания должен обладать достаточной прочностью и иметь весьма мощный привод.

Кроме того, изготовить разъемный контейнер конечно сложнее, чем неразъемный. Разъемный контейнер по сравнению с неразъемным обладает пониженной прочностью и жесткостью, что ставит под сомнение возможность прессования материалов с высоким сопротивлением деформации.

Изучаемый в настоящей работе технологический вариант проходного прессования и пресс для обратного прессования предполагают использование инструментальной наладки (рис. 1).

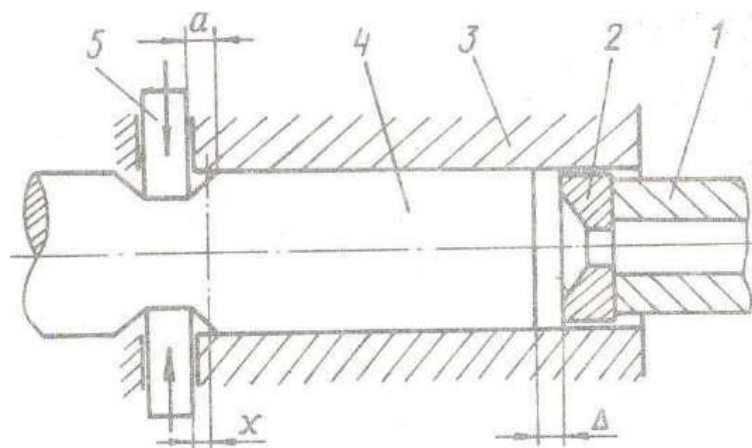


Рис. 1. Инструментальная наладка установки проходного обратного прессования; 1 – полый пуансон; 2 – матрица; 3 – контейнер; 4 – заготовка; 5 – бойки.

Неподвижно закрепленный в поперечине прессы полый пуансон 1 с закрепленной на нем матрицей 2 расположен соосно контейнеру 3, имеющему привод перемещения. Со стороны подачи заготовки в контейнер монтируется радиально-обжимная машина (РОМ), бойки 5 которой примыкают к торцу контейнера; сама машина размещена соосно прессу. В полости контейнера 3 размещена заготовка неограниченной длины. Заготовку 4 подают в контейнер 3 так, чтобы между ее передним торцом и матрицей оставался зазор  $\Delta$ ,

нужный для заполнения металлом в процессе обжима заготовки бойками РОМ. Бойками 5 обжимается прилегающий к ним участок заготовки, замыкая контейнер со стороны, противоположной матрице. Металл частично вытесняется влево, а частично вправо, заполняя зазор  $\Delta$ . Индивидуальным приводом контейнер 3 надвигается на пуансон 1 с выпрессовыванием металла заготовки через матрицу 2. По завершении рабочего хода пресса бойки разводятся, освобождая заготовку, а контейнер 3 перемещается в исходное положение. В контейнере остается заготовка с пережатым участком  $\omega$  (рис. 2).

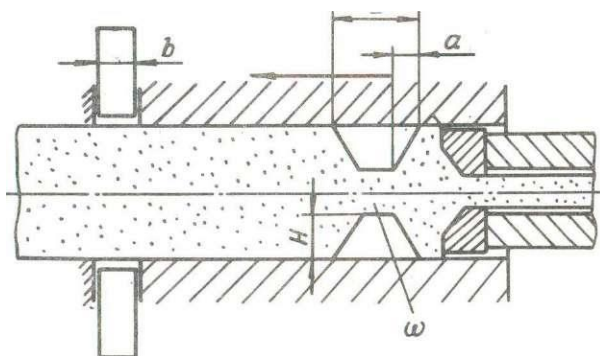


Рис. 2. Схема подачи очередной порции заготовки в контейнер пресса

Вновь пережимается участок заготовки, примыкающий к торцу контейнера. При этом происходит частичная распрессовка пережатого участка и из-за течения металла вправо. При последующем надвигании контейнера 3 на пуансон пережим на участке  $\omega$  полностью распрессовывается и осуществляется собственно прессование. Далее цикл повторяется.

Поперечный размер заготовки в месте пережима  $\omega$  зависит от поперечного размера получаемой заготовки. Если они равны, то обратное истечение металла через полость, образованную бойками, наступит лишь при практически полном выпрессовывании металла из контейнера. Однако не следует забывать, что на поверхности контейнера действуют напряжения трения, препятствующие течению через полость, которую образуют бойки, поэтому сечение в месте пережима может быть больше, чем отверстие в матрице.

На рис. 3 показано возможное расположение бойков радиально-обжимной машины. В качестве пережимающего устройства могут

быть применены также технические решения, относящиеся к примерам резки и разделения проката [3].

От формы пережима заготовки зависит - попадут ли поверхностные дефекты внутрь металла при распрессовке и последующем прессовании. Форма поверхности пережима определяется величиной обжатия, длиной рабочей поверхности бойков, количеством бойков. При аналитическом описании размеров зоны пережима число бойков принято равным четырем, поскольку конструкция четырехбойковой РОМ наиболее проста.

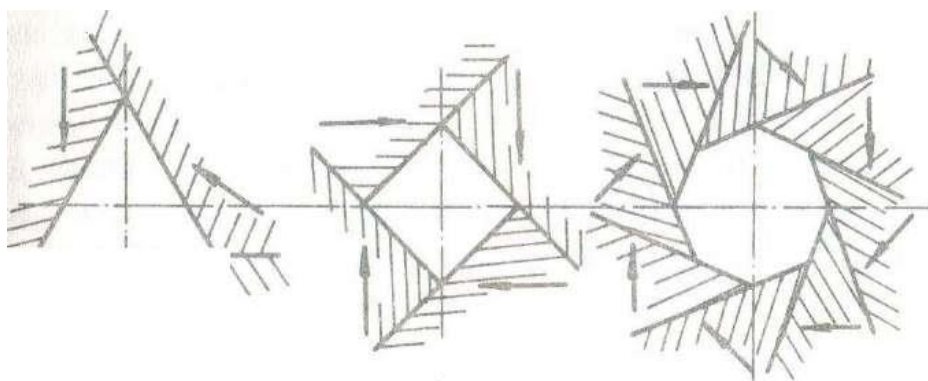


Рис. 3. Варианты схемы сопряжения бойков РОМ прессовой установки.

В процессе сближения бойков при радиальном обжатии круглой в сечении заготовки деформация разделяется на два этапа: на первом – бойки внедряются в заготовку до заполнения металла просвета между сопряженными бойками, на втором – металл вытесняется из-под бойков в осевом направлении. Если в качестве оценки степени деформации принять:

$$\varepsilon = \ln(d_0/d_1)$$

где  $d_0$  - диаметр сечения заготовки;  $d_1$  – текущее значение диаметра окружности, вписанной в просвет между бойками, то легко установить, что первый этап обжатия заканчивается при  $\varepsilon=0,346$ . На первом этапе течение металла возможно не только поперек, но и вдоль бойков, на втором - весь металл, вытесняемый ножами, расходуется на формирование зоны пережима. Жесткие части заготовки на втором этапе смещаются более интенсивно. На любой стадии обжатия полная длина пережима  $L=b+2a$ , где  $b$  – длина рабочей поверхности бойков,  $a$  – величина осевого оттеснения заготовки.

Вводя текущую координату  $x$  (см. рис. 1), характеризующую течение заготовки в зоне пережима, и принимая  $x=0$  в сечении

боковой плоскости бойков, из геометрических соотношений при допущении плоскостности поверхностей зоны пережима составляют выражение для площади произвольного поперечного сечения:

$$S = d_0^2 \left( z\sqrt{1-z^2} - \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-z^2}}{z} + \frac{\pi}{4} \right)$$

где  $z = 1 - x(1-e^{-\varepsilon})/a$ .

Объем металла, вытесненного из-под бойков на первом этапе обжатия,

$$V_1 = 2 \frac{d_0^2}{c} \left[ - \int_0^{z_1} z \sqrt{1-z^2} dz + \int_0^{z_1} -\operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-z^2}}{z} dz + \frac{\pi}{4} z \right],$$

где  $z_1 = 1 - ac = e^{-\varepsilon}$ ;  $c = (1-e^{-\varepsilon})/a$ .

Отсюда

$$V_1 = d_0^2 b \left( -e^{-\varepsilon} \sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} + \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}}}{e^{-\varepsilon}} \right).$$

Длина оттеснения жестких частей заготовки при  $\varepsilon < 0,346$

$$a_1 = \frac{2}{3} b \frac{d_0^2}{d_1^2} \frac{(1-e^{-\varepsilon}) \left( \operatorname{arctg} \frac{\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}}}{e^{-\varepsilon}} - e^{-\varepsilon} \sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} \right)}{\sqrt{(1-e^{-2\varepsilon})^3 - 3\sqrt{1-e^{-2\varepsilon}} + 3e^{-\varepsilon}} \left( \operatorname{arccos} e^{-\varepsilon} - \frac{\pi}{4} \right) - 1}.$$

Форма поверхности пережима, образующейся на втором этапе обжатия, близка к четырехгранной пирамиде, в широком основании которой лежит квадрат со стороной  $d_1|_{\varepsilon=0,346}$ . Полная текущая длина оттеснения металла в развитии второго этапа обжатия определяется суммой  $a = a_1 + a_2$ . Если объем вытесненного на втором этапе металла

$$V_2 = \frac{a_2 d_0^2}{3} (1 + 2e^{-2\varepsilon} + \sqrt{2e^{-\varepsilon}}),$$

то

$$a_2 = \frac{6b(1-2e^{-2\varepsilon})}{1+2e^{-2\varepsilon}+\sqrt{2e^{-\varepsilon}}}.$$

Таким образом

$$L = b + 2(a_1 + a_2).$$

Полученные формулы для расчета  $a$  и  $L$  проверены экспериментально и показали удовлетворительные результаты. Длина пережима существенно зависит от длины бойков  $b$  и относительного обжатия.

Последующая распрессовка и заполнение металлом зоны пережима (см. рис. 2) проходят успешно при определенном соотношении длины  $L$  и глубины  $H$  пережима. Форма пережима в какой-то мере наследует форму рабочей поверхности бойков и влияет на формирование зажимов при распрессовке заготовки. Установлено, что естественная форма пережима, образующаяся при свободном оттеснении металла из-под бойков, нарушается в результате действия осевого сжатия в объеме заготовки. При различной величине осевого подпора эта форма может быть прямоугольной, треугольной, радиальной. Прямоугольная форма пережима при распрессовке провоцирует образование воздушных полостей в объеме заготовки; треугольная форма приводит к зажиму поверхности раздела и запрессовыванию ее внутрь. Узкий глубокий пережим даже с радиальным скруглением дает похожую картину течения металла. Лишь плоский вогнутый профиль пережима, формируемый радиальными или плоскими со скруглением кромок бойками, обеспечивает плавное заполнение полости внутри контейнера без зажимов. Найдено, что соотношение между глубиной и шириной пережима для устранения зажимов должно быть не более 0,5. Вместе с тем при длинных пережимах нерационально используется материал заготовки при прессовании, поскольку контейнер заполняется не полностью. Так, нерационально назначение длины пережима более длины контейнера, поскольку последняя составляет около пяти диаметров заготовки, то  $L < 5d$ ; естественно при этом, что глубина пережима не может превысить  $d_0/2$ , т. е.  $H < d_0/2$ , откуда минимальное значение  $H / L = 0,1$ . Таким образом, диапазон допустимых отношений  $0,1 < H/L < 0,5$ .

Очевидно, что искажение естественной формы поверхности пережима [4] возникает, когда напряжение осевого подпора превосходит сопротивление деформации  $\sigma_s$  металла заготовки в сечении истечения металла из-под смыкающихся бойков. Если обжатие выполняется  $n$  - бойковой РОМ, то максимально допустимое усилие осевого подпора определяют из выражения:

$$P_{max} = 0,25\sigma_s d_0^2 n \frac{e^{2\varepsilon}}{\operatorname{tg} \frac{\pi}{n}} \text{ или } P_{max} = \sigma_s d_0^2 e^{2\varepsilon}$$

для рассматриваемого случая, когда  $n = 4$ .

При усилии распрессовки и заполнения металлом полости предыдущего пережима больше  $P_{max}$  необходимо отводить после каждого цикла прессования пресс-остаток от матрицы на длину не менее  $a$ . Здесь под пресс-остатком понимается часть объема заготовки, примыкающая к матрице (см. рис. 2).

Отдача заготовки в направлении, противоположном подаче, может быть также затруднена при использовании жестких подающих устройств. Если же проходное прессование совмещено с горизонтальной непрерывной разливкой, проводимой с шагом вытягивания, равным ходу контейнера пресса в цикле прессования, то эта обратная отдача может быть успешно использована для устранения неспаев шагов при непрерывной разливке.

В отличие от традиционного способа прессования дискретных заготовок в описанном здесь достигается непрерывность процесса, повышается выход годного, становится возможным сопряжение деформации с процессом непрерывного литья.

По сравнению со способом по патенту[2] нет необходимости срезать заусенец, образовавшийся при смыкании частей контейнера. Это повышает выход годного. Устройство проходного прессования в целом komponуется из двух широко распространенных агрегатов: пресса и радиально-обжимной машины. Кроме того, упрощается изготовление контейнера, поскольку последний теперь представляет собой тело вращения без каких-либо разрезов. Этот фактор способствует существенному увеличению прочности и жесткости контейнера, что позволяет прессовать металлы с высоким сопротивлением деформации, т.е. расширяются технологические возможности.

Кроме того, уменьшаются габариты (длина) контейнера, поскольку прессуемый материал удерживается не только напряжениями трения, но и механическим сцеплением контейнера с заготовкой.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полухин П.И., Хензель А., Полухин В.П. и др. Технология процессов обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1988, 408 с.



2. Патент США № 4208897. Оpubл. 24.01.80, заявл. 08.01.78. МКИ В21С 23/32, 27/00, 35/04.
3. А.с. СССР № 963725. БИ, 1982, № 37
4. *Kolmogorov V.L., Burkin S.P., Babailov A.A.* - "Advances in Materials and processing Technologies". 24-27 aug. 1993. Dublin, 1993. p. 1140-1152.